

研削面の粗さについて

村 中 利 吉 高 辻 雄 三
南 立 作

On the Roughness of the Grinding Surface

Rikiti MURANAKA Yusuo TAKATUZI
Ryusaku MINAMJ

The state of surface by the old grinding process was not sufficiently fine. Theoretically the roughness must be the order of $10^{-1} \sim 10^{-2} \mu$, but practically it was a few microns. These remarkable disparity would be the results from the precision of revolution of the grinder axis and longitudinal feed of the grinder.

Recently the cylindrical plane grinder has been remarkably improved and at some conditions the possibility of glassy finished surface would be realized, so the comparison of theoretical values and experimental values has been easily and clearly done.

In this paper some analytical formulas are reduced and some experiments at various conditions were tried. These experimental results generally verified that analytical results would be reasonable.

1. 緒 言

近時工作物の仕上面の粗さは益々精細なものを要求され、これに伴つてその要求を或る程度迄満たし得る研削盤も出来て来て現在では $10^{-1} \mu$ 単位迄の粗さの仕上が研削盤で可能となつた。凡そ面の粗さは理論的に求めると矢張り $10^{-1} \mu$ 単位以下に出るのであるが今迄の多くの実験資料を見ると大抵 μ 単位位しか出ていない、従つて理論と実験とはよく一致せず、この点は推察によつて説明づけられているにすぎない、故に果してその理論が正しいものであるか否かは判定に苦しむのである。この様に理論と実験とが一致しない一つの大きな原因は、より精密仕上が出来るよい研削盤を使用しないことにある。研削盤の良否の急所は砥石軸の回転精度にある。某会社の調査によると従来の研削盤の主軸心の移動軌跡は 10μ 以上にも及びしかも無軌道的なものであるとのことである。この様な研削盤を使用した場合には砥石の振動が大きくなり砥石面と工作物との接触が或は大きく或は小さくなり砥粒の切刃間隔の不同が著しくなるため実験結果は凡そ理論の結果と縁遠いものとなつてくる。更に砥石の縦送りの粗い為めに研削圧力による工作物の彎曲変形を完全に補正出来ず、この為面の粗さが悪くなることもあつて実験結果は正確には表われてこない。本実験は求めた粗さの理論式がどの程度真理かを立証するためこの目的によくかなつた円筒研削盤の入手が出来たので行つたものである。面の粗さに影響ある因子としては砥石の性質、機械の性能、研削油の良否、研削作業条件及び工作物の材質等広い範囲にわたるものであるが、ここでは単に研削作業条件のみに就いて実験を試みた。

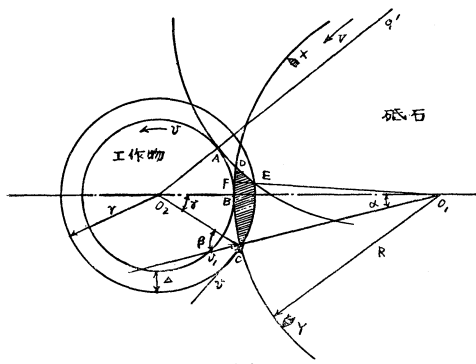


図-2

と変化するものと考えられる。今一つの砥粒によつて切り出される切屑の成生状況を見ると図-2に於いて一つの砥粒がX点よりY点迄動く間に工作物の一点がB点よりA点に動くものとすればこの一つの砥粒によつて削り取られる切り屑は側面より見ると図のCBFDEの如き形になつて各部分によつてその厚さが異なる、しかもその最も厚い所はEFの部分である。このEFなる所を側面より見れば直線であるが、砥粒がある深さをもつて引き掻く以上ある面積をもつたものである可きである。又この面積をもつた切屑の横断面の形は砥粒先端の形によつて

変化するものである。今砥粒先端によつて作られる切屑が幅のないものか又は幅が一定の場合には切屑厚さは

$$EF = v \tau \dots \dots \dots (4)$$

で表わされる。上式で v は砥石半径方向の工作物の分速度、 τ は連続切及間隔を砥石が動く時間である。

然しこれは実際的には起り得ないか、又は極めて特殊な場合である。この(4)式のEFを砥粒の最大切込深さ g をもつて表わせば、 g は容易に次式の如く示される。

$$g = \frac{v}{V} a \sqrt{\frac{r+R}{rR}} \sqrt{2\Delta} \dots \dots \dots (5)$$

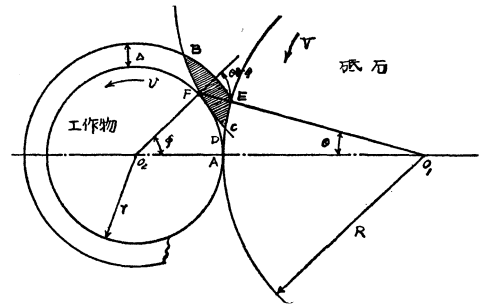


図-3

次に切屑の成生機構を図-3の如く考える。Merchant等は単位時間に砥粒によつて切り出された切屑横断面の工作物表面への投影面積の集計が、単位時間の工作物の周面積に等しいと考えて次の式を提示している。今EFなる部分の切屑の横断面積を A とすれば

$$A = \frac{2\ell v (1 + \frac{D}{D_w})}{VnD} \dots \dots \dots (6)$$

上式で ℓ = 切屑の長さ即ち接触弧の長さ

D = 砥石の直径

D_w = 工作物の直径

n = 単位面積当りの切刃の数

v = 工作物周速

V = 砥石の周速

(6)式を砥石の半径 R 、工作物半径 r 、及び n を連続切刃間隔の符号で書き換えると

$$A = \frac{2\ell v (r+R)}{VRr} \frac{a^2}{m^2} \dots \dots \dots (7)$$

又接触弧 ℓ の値は

$$\ell = \sqrt{\frac{rR}{r+R}} \sqrt{2\Delta} \dots \dots \dots (8)$$

(8)式中 Δ は切込量で(7)式の m は各切刃間隔の間の条痕数を表わす。(8)式を(7)式に代入すると

$$A = \frac{v}{V} \cdot \frac{a^2}{m^2} \sqrt{\frac{R+r}{Rr}} \sqrt{2\Delta} \dots\dots\dots(9)$$

前にも述べた如く(9)式のAの形は砥粒先端の形に左右されるものである。今砥粒先端の磨耗過程を図-4の如く仮定することが出来る。従つて切屑の横断面は図のハッチを施こした部分で示されることになる。図のb, tの値はAとある指数関係を有することは明らかである。即ち

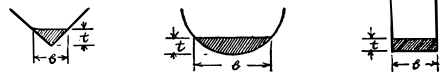


図-4

$$\left. \begin{array}{l} t = K_1 A^C \\ b = K_2 A^{1-C} \end{array} \right\} \dots\dots\dots(10)$$

但し三角形の場合はCは $\frac{1}{2}$, 円の場合には $\frac{2}{3}$, 矩形の場合は1である。然るに粗さの式はtの値で示さる可きであるからこれを一般に h_2 で示せば

$$h_2 = t = K_1 \left(\frac{v}{V} \cdot \frac{a^2}{m^2} \sqrt{\frac{R+r}{Rr}} \sqrt{2\Delta} \right)^C \dots\dots\dots(11)$$

今砥石にfなる縦送りが与えられる場合を考えるに、研削過程に於いては所定の切込量 Δ は接触弧の長さの範囲で完了されるものでその後の作業は単に研削完了された面の微細な磨滅作用に過ぎないのである。従つて(9)式のAの値は接触弧の範囲の切屑断面積を示すもので爾後の磨滅作用に対しては当てはまらない。今砥石幅をEとし送りをfとすれば $\frac{E}{f}$ は工作物上の同一位置が砥石に接触する回数を示す。接触回数が多くなれば連続切刃間隔 a がそれだけ小さくなる様な効果が示されるものと考えられる故に

$$\frac{f}{E} \propto a \dots\dots\dots(12)$$

とされる。

(12)式と(11)式との関連から次の式が成立する。

$$h_2 = K_1 \left(\frac{v}{V} \cdot \frac{a^2}{m^2} \sqrt{\frac{R+r}{Rr}} \sqrt{2\Delta} \right)^C \left(\frac{f}{E} \right)^{2C} \dots\dots\dots(13)$$

送りfと連続切刃間隔 a との間には(12)式の関係があるから縦送りがある場合には研削方向の粗さの式(3)'も当然補正さる可きもので、送りを考えた研削方向の粗さの式は次の如くなる。

$$h_1 = \frac{r+R}{8Rr} \left(\frac{v}{V} \right)^2 a^2 \left(\frac{f}{E} \right)^2 \dots\dots\dots(14)$$

故に粗さの一般式は(13)式と(14)式の和であるからこれをHで表わせば

$$H = \frac{r+R}{8rR} \left(\frac{v}{V} \right)^2 a^2 \left(\frac{f}{E} \right)^2 + K_1 \left(\frac{v}{V} \cdot \frac{a^2}{m^2} \sqrt{\frac{r+R}{rR}} \sqrt{2\Delta} \right)^C \left(\frac{f}{E} \right)^{2C} \dots\dots\dots(15)$$

更らに砥石のドレッシングに就いて考えて見る。ツール先端の半径を r_t , ツールの送りを f_t とすれば砥石面の凹凸 h は(図-5を参照)

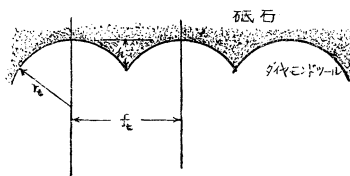


図-5

$$h = r_t - \left\{ r_t^2 - \left(\frac{f_t}{2} \right)^2 \right\}^{1/2} = \frac{f_t^2}{8r_t} \dots\dots\dots(16)$$

従つて砥石面の平滑度を増す為めにはツール半径はある程度大きく送りは微細にとることが望ましい。極端に送りを粗にすれば砥面の凹凸によって連続切刃間隔が大きくなり仕上面が悪くなるものと考えられる。

3. 実験概要

実験は種々の都合により砥石の性質、砥石軸の回転は一定とし、主として作業条件による影響のみに限定した。使用機械は大隈鉄工のGPB-150型精密円筒研削盤で、砥石は $610 \times 50 \times 305$ mm, A60-KmVで回転数1000r.p.mである。被削材は一般機械構造用鋼S45Cで直径60mm ϕ のものを使用した、又冷却剤はシムクールを用いた。

実験種目は次の事項を取り上げた

1. 砥石切込量と面の粗さ…工作物速度は40rpm(0.1256m/sec), ドレッシング速度70mm/min, 送り1mm/rev 切込は $10 \sim 50 \mu$ に変化させた。
2. 工作物速度と面の粗さ…送り1mm/rev, 切込約 5μ , ドレッシング速度70mm/minで工作物速度は0.12, 0.18, 0.37, 0.56m/secの4段階に変化させた。
3. 工作物送りと面の粗さ…工作物速度は40rpm(0.1256m/sec)ドレッシング速度は70mm/min, 切込約 $3 \sim 5 \mu$ で送りは $\frac{1}{2}$, 1, 2, 3, 5mm/rev, とした。以上の実験は何れもトラバースカットで1回のみの研削である。
4. ドレッシング速度と面の粗さ工作物速度40rpm(0.1256m/sec) 切込約 5μ でドレッシング速度は40, 70, 100, 150, 200mm/minでこの場合はプランヂカットを採用した。研削時間15secである。又ドレッシングに使用したダイヤモンドツールの先端半径は1.8mmである。面の粗さは小坂仕上面検査器で横50倍, 縦10,000倍として測定した, 砥粒数の算定は騰写版用インキを砥石切削面につけ, 砲金製ローラで煙草紙に写しとり, 単位面積中の砥粒切刃数を求めた。

4. 実験結果及び考察

a , 連続切刃間隔 a と各作業条件との関係を図-6に示す。

我々が本実験に着手するに a の値は砥粒磨滅脱落の影響を受ける故, 作業条件の変化につれて一定の傾向を示すと考えたのであるが, 単位面積中にある砥粒を正確に測定する為のよい方法がないので満足すべき結果を得るわけにはいかなかった。本実験では数多くの測定の平均値より単位面積

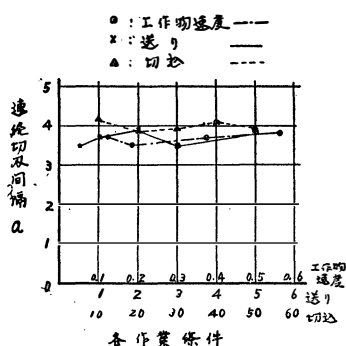


図-6

中の砥粒数を858と決定し, 単位長さ中の条痕数のみによつて a の値を決定した。従つて図の如く a の値は変化も少くまた一定の傾向を示さなかつた。次に各作業条件と粗さの関係を求めるのであるが, 粗さの理論式, 式(5)の第一項は $10^{-6} \sim 10^{-7}$ mmの単位となり, 第二項は $10^{-4} \sim 10^{-5}$ mmの単位となる故, 最大粗さの問題では第二項のみを考えればよい。また式(6)の指数Cは磨滅作用を受け0.5~1の間で変化するものだが, 一応本論文では最大粗さを問題としている故 $C=0.5$ として計算値を求めてみた。

b. 切込量と粗さの関係は図-7に示す。

研削方向の粗さは切込量とは無関係であり直角方向の粗さは式(5)より切込量の $(\frac{1}{2})^C$ 乗即ち $(\frac{1}{4})^C$ 乗に比例する。切りくずの横断面積は接触弧の長さによつて変化することは式(6)によつて示され, 又接触弧の長さは式(8)の如く切込量の平方根に比例するものであるから切込量の大小は切りくず面積に影響することは当然である。砥粒の先端の形は磨耗過程に応じて変化し, それにつれて砥粒の切込深さも変つて来る筈で, 従つて粗さもこの砥粒切込深さによつて支配される故, 粗さは矢張り $(\frac{1}{2})^C$ に比例すると云うべきである。最大粗さを問題とすれば $C=\frac{1}{2}$ で小野氏の理論と同じく4乗根に比例することとなる。

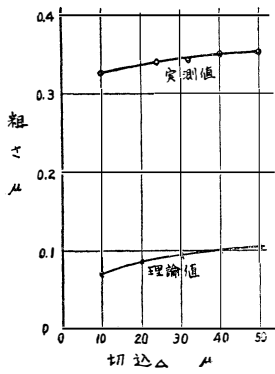


図-7

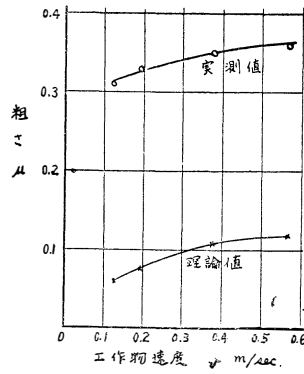


図-8

図-7はこの関係をよく表わし上に凸のゆるい曲線となつている。

C. 工作物速度と粗さの関係は図-8に示す。研削に直角な方向の粗さは $\left(\frac{v}{V}\right)^C$ に比例する。研削速度は固定されているので、工作物の速度の変化に対する傾向をみると、工作物速度が増加すると鋭利な刃先をもつたもの程上に凸な曲線となり、鈍化したものは直線的に増加して来ることがわかる、従つて結合度の強い砥石は砥粒の脱落

がおくれるので刃先は比較的鈍化した状態で研削され、軟かい砥石は刃先が常に鋭利な状態にあるものと考えられる。また一方結合度の弱い砥石の方が連続切刃間隔が大きいので、この a の値が $2C$ 乗で粗さの上に効いてくるから、弱い砥石は当然粗さが粗く $\left(\frac{v}{V}\right)^{1/2}a$ の曲線となり、強い砥石は $\left(\frac{v}{V}\right)a^2$ の曲線となる。即ち軟かい砥石に対しては粗さ曲線は上に凸なる曲線となり、硬い砥石は漸次直線となる、図-6に示す如く a の値はあまり変化なくはつきりした傾向を示していないので図-8の計算値の変化は $\left(\frac{v}{V}\right)^{1/2}$ に比例した上に凸なる曲線となり、粗さの実測値の曲線は上記の考察の如くやや直線に近い値を示しているように表われている。

d. 送りと粗さとの関係は図-9に示す。

工作物に縦送り f が与えられるときは、最初は所定の切込みで研削作業が行はれるがその後は同一点を $\frac{E}{f}$ 回だけ反覆磨滅に似た作業を繰返すことになる。即ち一種の微細研削作業になる、故に工作物の側よりみれば、その結果は連続切刃間隔が $\frac{f}{E}a$ になつたと同様に効いてくる。従つて研削方向に直角な面の粗さは f^{2C} に比例する、即ち軟かい砥石に対しては f に、硬い砥石に対しては f^2 に比例し易いと考えられる。本実験では a の変化も少く、 C を $\frac{1}{2}$ として計算しているから理論値は直線となり最大粗さを問題としている故、実測値も図の如く殆んど直線の傾向を示している。切込量、工作物速度、送りと3つの作業条件のみに関する実験では式(10)の指数 C の影響を決

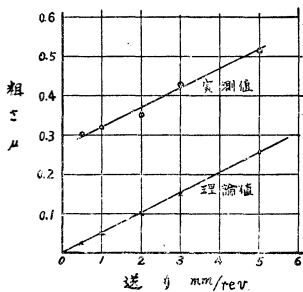


図-9

定づけるには未だ不足で、砥石の構成要素即ち砥粒結合度組織を変化させた実験を行わねばならずこれは今後の問題となる。

e. ドレッシングの送り速度と粗さの関係は図-10に示す。

ドレッシングを行う場合或る送りを以つてある切込を与え、且つある丸味をもつたダイヤモンドで行う関係上砥石面はねち状に出来上ることになる。この砥石面のあれは式(10)によつて計算される、工作物の送りが粗くなれば切刃間隔が大きく従つて連続切刃間隔も大きくなつて面の粗さが大きくなる。

実測値も図の如く送り速度が増すにつれて粗さが悪くなることを示している。

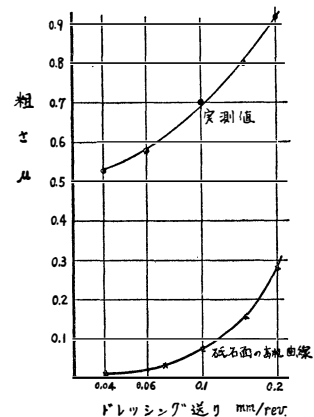


図-10

5. 結 論

以上の実験を総括すると次の如く云える。

- (1) 切込量工作物速度の増大は仕上面粗さを増すが、その変化は比較的小さい。
- (2) 送りを増すと仕上面粗さはそれに比例して悪くなり、然かもその変化はかなり大きい。
- (3) ドレッシングも仕上面粗さに相当大きな影響を及ぼしている。従つてドレッシングには送りを出来るだけ小さくとり、砥石面のあれを防がなければならない。

参 考 文 献

- (1) (2) 精密工作便覧(第2巻) 精機学会 P.7 P.12
- (3) (4) W.R.Backer and H.E.Merchant : On the Basic Mechanics of the Grinding Process Trans of the A.S.M.E. January 1958 P.143
- (5) 小野 : 研削仕上の研究(仕上面のあらさについて) 日本機械学会論文集18巻74号 P.21